Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen
Band: 12 (1952)

Artikel: Quelques corrosions de béton
Autor: Chevrier, Pierre / Houbas, Robert
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-12314

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Quelques corrosions de béton

Korrosionsprobleme des Betons

Corrosion problems of concrete

PIERRE CHEVRIER, Directeur adjoint de l'Exploitation d'Electricité de France, Paris, chargé du Service de la Production Hydraulique

et

ROBERT HOUBAS, Ingénieur du Service de la Production Hydraulique Electricité de France, Paris

Resumé et introduction

Le but de cet exposé est de décrire trois cas de corrosion dans le cadre des installations hydroélectriques françaises.

1. Attaque des barrages des Sept-Laux par les eaux pures d'un bassin granitique des Alpes

Cette corrosion a nécessité des travaux d'entretien constants depuis trente ans. Si la corrosion a été diminuée par la réalisation d'une gunite armée protégeant les ouvrages, elle est encore intense. La solution sera recherchée par une augmentation de la compacité de l'enduit, par l'utilisation d'un ciment approprié et par une protection de cet enduit au moyen d'une peinture bitumineuse.

2. Attaque de la galerie d'amenée de l'usine d'Avrieux dans les Alpes par les eaux séléniteuses

Cette galerie traverse un banc de gypse et anhydrite qui provoque des attaques profondes des bétons dont le liant hydraulique est un ciment artificiel. La corrosion sera très diminuée en enrobant les parties de l'ouvrage les plus attaquées par du ciment de laitier.

3. Attaque du parement aval du barrage du Chambon dans les Alpes par le gel

Le parement aval qui, à l'origine, avait été fait avec un béton maigre, a été protégé par une gunite largement dosée en ciment.

I. Corrosion des bétons des barrages des Sept-Laux par les eaux pures

Les barrages des *Sept-Laux* se trouvent dans le massif Alpin de Belledonne à une altitude voisine de 2100 m (voir photo 1). Ils sont au nombre de six. Le barrage principal du Lac Carré construit en 1913 retiendra plus particulièrement notre attention.

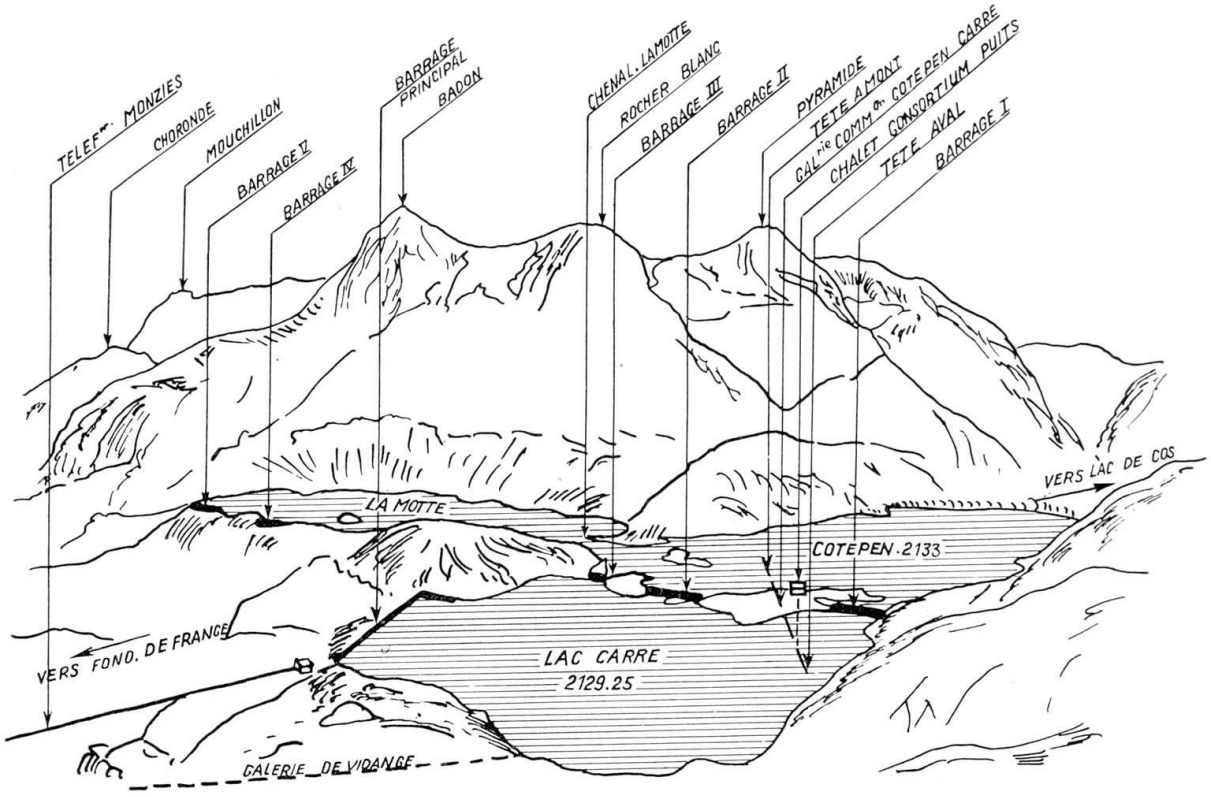


Photo N⁰ 1

Caractéristiques du barrage du Lac Carré
(voir figure 1 et photo 2)

Type	poids
Longueur	190 m
Hauteur maximum	9 m
Cube des maçonneries en surélévation	3600 m^3
Surface parement amont	1226 m^2
Surface parement aval	1740 m^2
Largeur du couronnement	1 m
Epaisseur à la base	8 m
Forme en plan	rectiligne

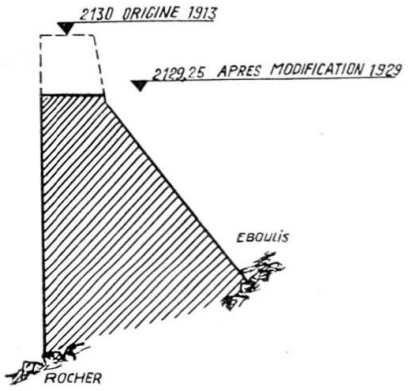


Fig. 1. Profil du barrage du Lac Carré

Photo N° 2

Les maçonneries sont constituées de gros blocs maçonnés au mortier de ciment. Les agrégats ont été pris sur place.

Historique des travaux

Dès 1920, 7 ans après sa finition, le barrage donnait des inquiétudes. On procéda à des injections dans le corps du barrage, aux joints rocher-béton et dans les fissures du rocher avoisinant. Les résultats n'ayant pas été décisifs, il a été envisagé de reprendre l'ouvrage en sous-œuvre. Cette solution n'a pas été retenue. On avait prévu également d'appliquer un enduit étanche sur le parement amont à base de brai de houille. Les essais faits sur une petite surface conduisirent à un résultat négatif.

En 1927, l'état de l'ouvrage s'étant aggravé, il fut procédé à de nouvelles injections du corps du barrage et à l'exécution d'un masque d'étanchéité sur le parement amont constitué d'une gunite armée d'un grillage métallique. Malgré ces travaux et par mesure de précaution, la hauteur de retenue du barrage dut être abaissée de 75 cm.

A partir de ce moment-là, on admit que 7 ans était un intervalle trop long et qu'il fallait prévoir tous les 5 ans la réfection de la gunite.

Les travaux furent interrompus par la guerre. En 1947, les dégâts étaient importants. Il fallut non seulement refaire l'enduit mais injecter à nouveau le corps du barrage. D'une façon générale, tous les ouvrages en béton de cette installation: barrages secondaires, galeries, portes des vannes, etc. sont l'objet d'entretien permanent.

D'autre part, les difficultés locales de transport (téléférique) et de séjour dues à l'altitude et à la rudesse du climat gènent considérablement les travaux.

Corrosion des maçonneries

Les eaux du massif granitique de Belledonne sont excessivement pures et le processus d'attaque de ces eaux est classique exosmose de la chaux des liants hydrauliques et hydrolyse des silicates.

Un certain nombre de constatations sont intéressantes à faire.

Les injections dans le corps du barrage ont dû être faites en 1920, 1928 et 1947.

Entre 1913 et 1920 d'une part et entre 1920 et 1928 d'autre part, soit dans un intervalle d'environ sept ans, les bétons au sein du barrage étaient désagrégés.

La réalisation d'une gunite armée sur le parement amont a nettement ralenti le phénomène d'attaque dans la masse. L'entretien se bornait à la réfection, tous les cinq ans environ des parties attaquées de la gunite.

Si la guerre n'avait pas malencontreusement interrompu ces travaux d'entretien de surface, il est vraisemblable que les injections faites en 1947, soit environ vingt ans après celle de 1928, auraient été retardées.

En bref, on peut dire que l'exécution et l'entretien d'une gunite sur le parement amont du barrage a permis par l'augmentation de l'étanchéité de multiplier par trois la durée de l'ouvrage.

Cette diminution de la porosité est d'autant plus intéressante pour un barrage qu'un phénomène secondaire d'érosion interne dû à l'action de la charge de l'eau accélère rapidement la désagrégation des maçonneries.

Un certain nombre d'essais comparatifs ont été faits sur le barrage N° 2 des *Sept-Laux*.

Il a été essayé sur la surface amont de ce barrage (voir fig. 2) les produits suivants:

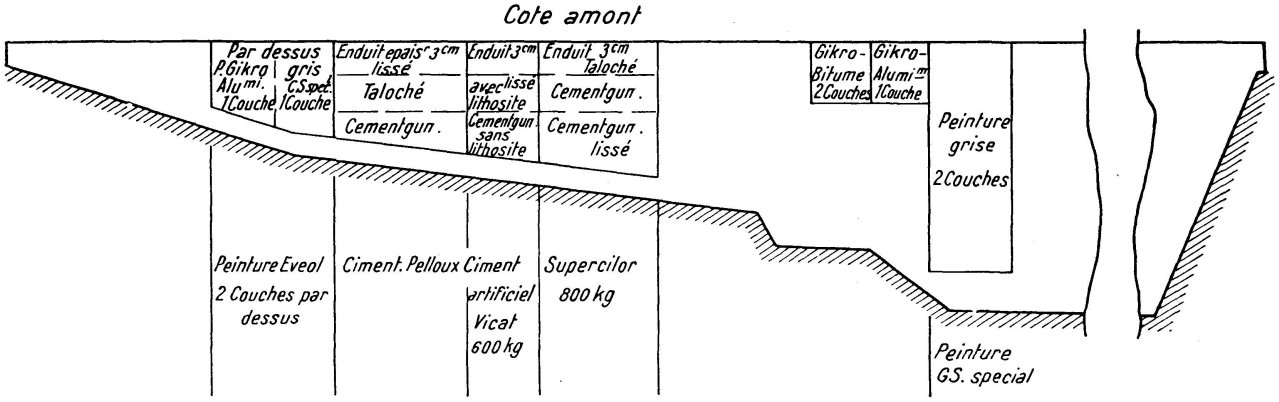


Fig. 2. Barrage N° 2 des Sept-Laux
Essais d'enduits et de peintures spéciaux. Plan de repérage des zones protégées

Le ciment spécial Pelloux N° 2

C'est un ciment naturel du Valbonnais que l'on ne trouve plus actuellement. Il fut mis en œuvre au dosage de 600 kg par m³ au moyen d'un cement-gun de trois façons différentes: naturel, taloché, et lissé à la truelle. L'épaisseur de l'enduit étant de 3 cm environ.

Quatre ans après, l'enduit avait parfaitement résisté quoique présentant de petites craquelures superficielles. Il résistait bien au grattage au moyen d'une lame d'acier.

Le ciment Supercilor

C'est un ciment de laitier de hauts fourneaux. Il a été utilisé au dosage de 800 kg. La bande d'essai (épaisseur 3 cm) fut également divisée en trois zônes (cement-gun naturel, taloché, lissé). Après le même délai de quatre ans, l'enduit était attaqué par l'eau, laissant apparaître les grains de sable qui tombaient au grattage.

Le ciment ordinaire artificiel Vicat

Il a été incorporé à ce ciment artificiel utilisé au dosage de 600 kg de la lithosite devant assurer l'imperméabilité.

Une partie de l'enduit exécutée au cement-gun d'épaisseur 3 cm a été lissée et l'autre partie est restée brute d'application.

Après le même délai de 4 ans, l'enduit a beaucoup moins bien résisté que le ciment Pelloux. Gratté avec une lame d'acier, il s'effritait.

La peinture Evéol C

C'est une peinture bitumineuse. Elle avait été appliquée au pistolet. Pour atténuer l'action de la chaleur, elle avait été recouverte en partie par une peinture grise spéciale *C. S* à base de bitume, en partie par du Gikroaluminium de couleur brune, la partie restante a été laissée noire (exposée au soleil, elle s'est ramolie et a coulé).

Ces peintures n'ont pas tenu. On peut retenir que le Gikroaluminium avait une bonne adhérence.

La peinture Silexore

Cette peinture au silicate n'a pas tenu.

Ces études montrent que les ciments naturels et en particulier les ciments prompts tiennent mieux que les ciments artificiels. Des résultats identiques ont été obtenus lors d'essais analogues sur le barrage de *Guerledan* dans le Massif Armoricain.

Conclusions

Quelles conclusions peut-on tirer de l'historique des travaux et des essais décrits ci-dessus?

Le but à atteindre est double: d'abord diminuer la perméabilité du barrage et, de ce fait, apparaît la nécessité de réaliser sur le parement amont une gunite la plus imperméable possible, ensuite de protéger cette gunite contre la corrosion des eaux par l'utilisation d'un liant hydraulique approprié et par le revêtement de cet enduit au moyen d'une peinture bitumineuse. Les facteurs qui influent sur la perméabilité sont:

les conditions de durcissement: un arrosage fréquent pendant le durcissement diminue le retrait,

une meilleure compacité: elle sera également obtenue avec une granulométrie étudiée (jusqu'ici les agrégats n'avaient pas été l'objet d'une sélection déterminée),

le dosage du ciment: il sera pris égal à la limite supérieure possible.

D'autre part, les ciments artificiels seront écartés comme contenant trop de chaux libre, un ciment naturel du genre Pelloux serait souhaitable.

Enfin, les techniques actuelles d'utilisation des bitumes permettent de faire des revêtements adhérents sur béton. La charge maximum que subit la surface étant faible, il y aura pas de chance de fluage du bitume. On peut espérer prolonger ainsi la vie de la gunite en la protégeant du contact agressif de l'eau.

II. Corrosion des bétons de la galerie d'Avrieux par les eaux séléniteuses

La corrosion des bétons par les eaux séléniteuses est connue depuis longtemps. Il y a expension des ciments sous l'action du sulfate de chaux. Ce corps donne avec les aluminates de chaux des sulfo-aluminates (sel de Candlot).

Mais alors que cette réaction faite en milieu liquide, c'est-à-dire entre sels dissous dans la solution qui imbibe le mortier ne provoque pas de changement de volume apparent et peut même contribuer à son durcissement (ciments métallurgiques, sursulfatés et ciments alumineux), la formation de sulfo-aluminate entre sels solides développe des forces de désagrégation.

Dans le cas de la galerie d'*Avrieux* que nous allons décrire ci-dessous, le sulfate de chaux est en solution et réagit sur l'aluminate solide. En effet, dans le ciment artificiel employé du fait de la présence de chaux libre, il n'y a pas d'alumine en solution.

Cette galerie se trouve dans les Alpes dans la vallée de la Maurienne. Elle sert à dériver les eaux de l'Arc pour l'alimentation de la centrale d'*Avrieux*.

Sur une longueur de 300 m, cette galerie traverse un banc de roches triassiques; gypse et anhydrite.

Le gypse qui résulte de l'hydratation de l'anhydrite est soluble ce qui fait apparaître de grands vides. Comme d'autre part, le gypse est peu résistant, ces vides donnent lieu à des éboulements et des dislocations de surface.

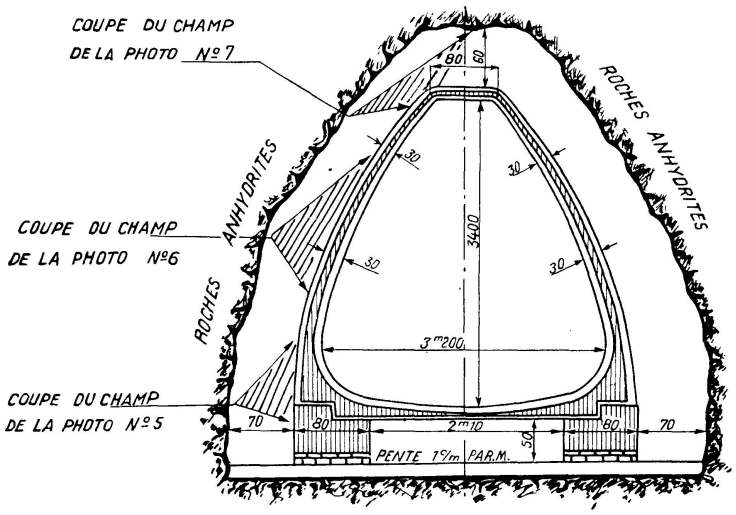


Fig. 3. Coupe de la conduite d'amenée dans la galerie d'Avrieux

La couverture de la galerie étant assez faible, les mouvements de terrains disloquèrent les maçonneries du tunnel dès la construction (1921) ce qui obligea à abandonner le tronçon déjà terminé. D'autre part, un éboulement important s'étant produit il devenait nécessaire de changer de méthode. Le bon terrain étant trop loin, le canal d'amenée fut constitué par une conduite en béton armé de forme ovoïde passant dans un tunnel plus grand et isolé de ce tunnel (voir fig. 3). Le ciment employé était un ciment artificiel.

De ce fait, les piliers supports de cette conduite sont seuls en contact avec le sol d'anhydrite et ils ont de plus été isolés du radier par des briques.

Malgré ces précautions, l'attaque des eaux séléniteuses se poursuit et ceci de deux façons:

1° Attaque des piliers et des parties basses de la conduite par absorption capillaire des eaux ruisselant sur le radier du tunnel.

2° Par l'attaque de la voûte de la conduite forcée par les infiltrations tombant goutte à goutte de la calotte du tunnel.

1° Attaque des piliers et des parties basses (voir photos 3 et 4)

La remontée capillaire de l'eau provoque une désagrégation complète des bétons qui tombent par plaques.

La photo 5[1]) représente un détail grandeur nature de la surface d'un pilier. On peut y remarquer les cassures très nettes des agrégats suivant des directions

Photo N° 3

Photo N° 4

[1]) Les champs des photos 5, 6 et 7 sont indiqués en coupe sur la figure 3.

planes laissant deviner les pressions ayant préludé à la destruction du béton. Ces cassures planes intéressant les agrégats sont la règle pour toutes ces parties basses.

Souvent, les armatures de la conduite sont mises à nu (voir photos 3 et 4) et se corrodent.

2° *Attaque de la voûte de la conduite forcée (voir photos 6 et 7*[1]*)*

Les eaux d'infiltration saturées en sulfate de calcium coulent par endroit goutte à goutte de la calotte du tunnel. Elles provoquent, au voisinage de leur point d'impact des attaques dont la photo 7 donne une idée avant raclage et la photo 6 après raclage.

Photo N° 5

Le foisonnement est tel que les efflorescences atteignent 10 à 15 cm de haut. Les agrégats se retrouvent enrobés dans une pâte onctueuse blanche. Par simple raclage, les armatures du béton sont mises à nu. Ces dernières rouillent et s'oxydent profondément. La corrosion est telle que certains fers ($\varnothing = 25$ mm) sont sectionnés (sur la photo 6, le troisième fer mis à nu en partant de la gauche).

Les travaux d'entretien ont été exécutés jusqu'ici avec du ciment fondu. Ce ciment alumineux est très résistant aux eaux sulfatées. Le revêtement d'une fenêtre d'accès a été fait entièrement avec ce ciment et ne présente pas de signes de dégradation.

La corrosion actuelle est telle que la sécurité de l'ouvrage est en cause. Il a été décidé d'enrober après nettoyage et drainage toute la partie inférieure de la conduite dans un lit de béton en ciment de laitier et ceci sur une hauteur de 1,50 m à partir du radier du tunnel.

Le ciment de laitier a été choisi par préférence au ciment sursulfaté pour éviter d'éventuels inconvénients aux contacts entre les bétons anciens et les nouveaux.

En effet, si le ciment sursulfaté n'a rien à craindre du contact des autres ciments, le ciment de Portland ancien n'aura-t-il pas à souffrir de la présence du sulfate de calcium qui entre pour 15% dans la préparation du ciment sursulfaté.

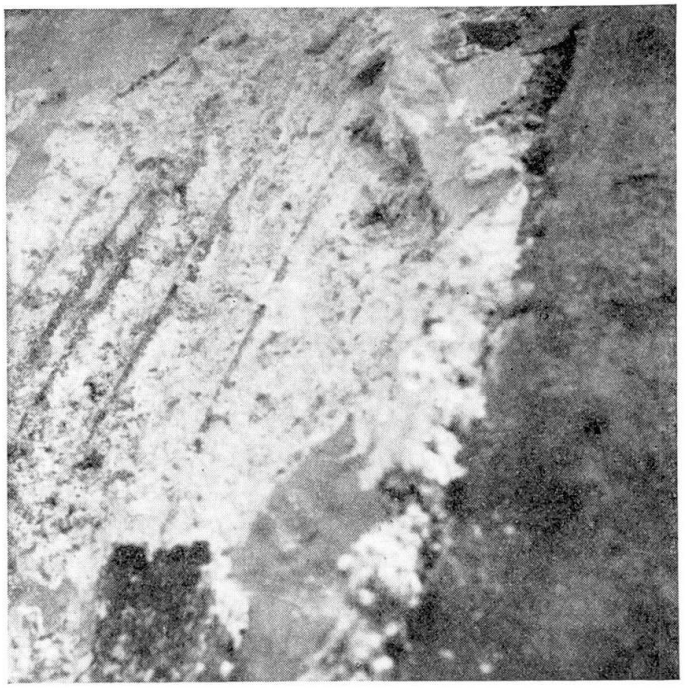


Photo N° 6

Certes un ciment sursulfaté qui a fait sa prise n'est pas dangereux pour le Portland voisin car le sulfate de calcium qu'il contient est définitivement fixé sous forme de sulfo-aluminate tricalcique non expansif et insoluble. Mais, durant la prise, un risque subsiste. Normalement, il n'y a rien à craindre du fait que les mouvements capillaires se produisent dans le sens ciment de Portland vers sursulfaté. Ce dernier ciment à mouture particulièrement fine crée dans le béton un réseau de capillaires plus étroit que dans le Portland, d'autre part, il est très avide d'eau pendant la prise. Toutefois, si par suite de conditions défavorables, le béton de ciment sursulfaté était assez perméable à cause d'une granulométrie défectueuse par exemple et était soumis à des pressions hydrostatiques, une circulation en sens inverse serait à redouter.

D'autre part, l'humidité qui règne dans une galerie est propice au durcissement de ce ciment. Enfin, la résistance de ce béton n'a pas besoin d'être très grande étant donné les faibles contraintes auxquelles il sera soumis.

Cet exemple montre combien destructive peut être l'action des eaux séléniteuses sur des bétons dont le ciment n'a pas été convenablement choisi.

Les précautions prises pour protéger le béton de la corrosion des eaux ont retardé certes la ruine de l'ouvrage mais ne l'ont pas empêchée.

III. Un exemple de corrosion des bétons par le gél

Cette désagrégation d'origine physique nait quand la température descend au-dessous de zéro au sein même des pores du béton. L'attaque est d'autant plus forte que le nombre de cycles de gel est plus important. La gélivité des bétons et mortiers étant en relation avec leur structure et leur porosité dépend en grande partie des conditions de dosage et de mise en œuvre, c'est-à-dire des proportions relatives de ciment, d'eau et de vides existants dans la masse.

Les parements aval des barrages sont quelques fois soumis à des cycles de gel assez nombreux.

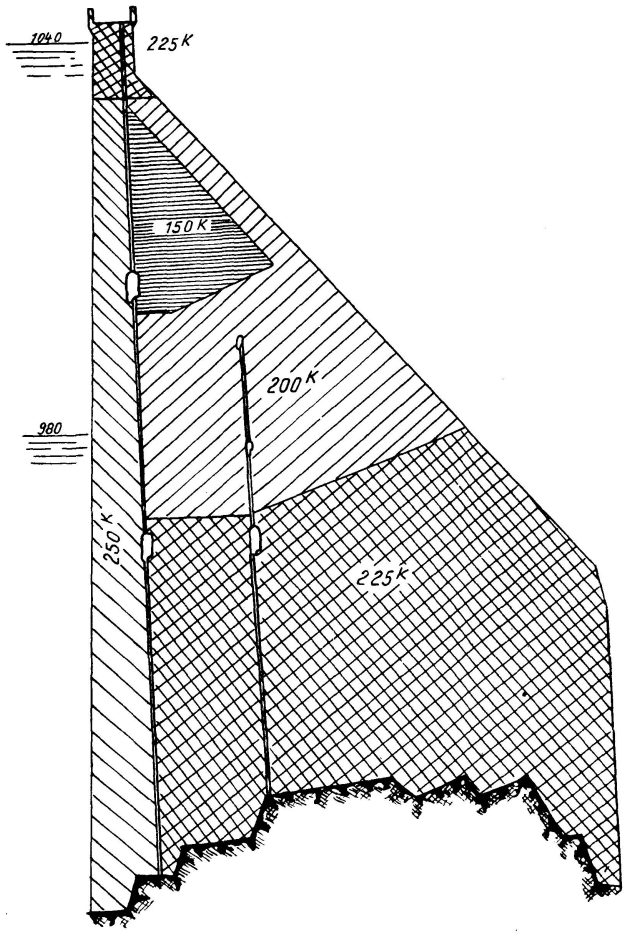


Fig. 4. Barrage du Chambon. Dosages théoriques des bétons

Nous citerons l'exemple le plus caractéristique, celui du barrage du *Chambon.*

Type du barrage	poids
Hauteur maximum	136,70 m
Epaisseur au sommet	5 m
Epaisseur maximum à la base. .	70 m
Longueur du couronnement. . .	293,60 m
Cube de maçonnerie du barrage .	300000 m^3
Mise en exploitation	1935
Altitude moyenne du barrage . .	1000 m

Ce barrage de par sa situation dans la vallée de la Romanche dans les Alpes subit un assez grand nombre de cycles de gel. D'autre part, le dosage du parement aval était assez pauvre (voir fig. 4). En 1949, la désagrégation devenait importante sur la totalité du parement si bien qu'il devenait indispensable d'y porter remède. Par endroits, l'attaque atteignait 30 cm d'épaisseur.

Des trois solutions envisagées:

revêtement du parement par des moellons de granit,
mise à l'abri du parement par une sorte de toit,
gunitage non armé du parement;
la dernière fut retenue.

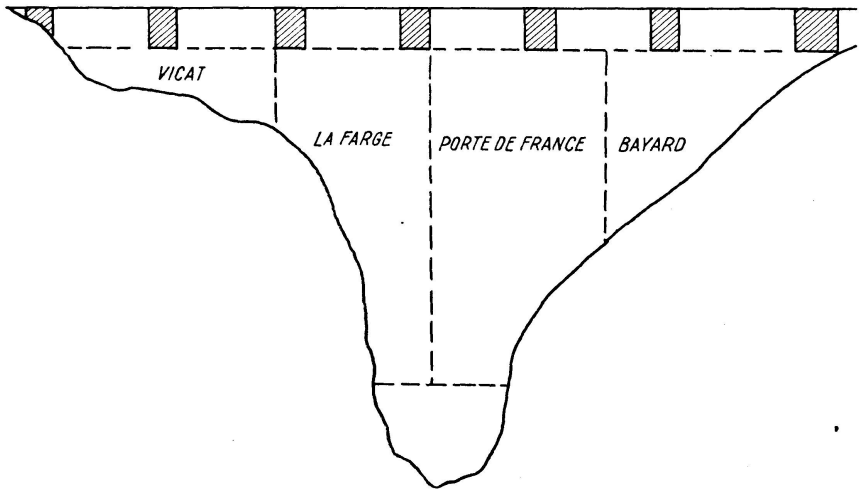


Fig. 5. Barrage du Chambon. Repartition des ciments sur le parement aval

Le revêtement du parement par des moellons de granit présentait une excellente protection mais entraînait une dépense trop élevée.

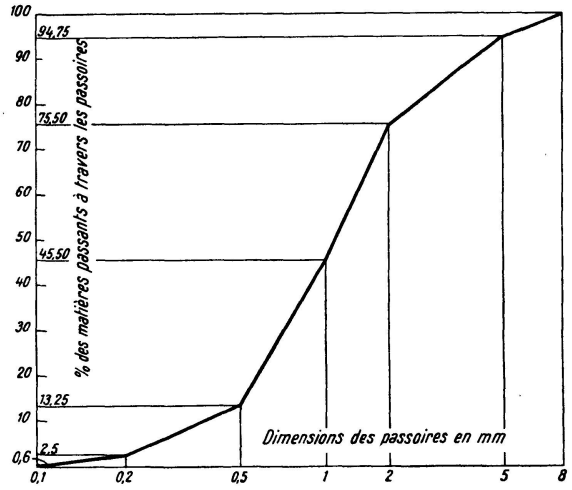
La deuxième solution ne donnait pas toute garantie contre le gel et d'autre part, le toit risquait de nuire à l'esthétique de l'ouvrage.

La solution du gunitage présentait l'avantage d'être d'une réalisation simple et de redonner au parement un bel aspect.

Les travaux consistèrent en:

un piquage qui fut facile à faire étant donné la faible résistance du béton,
un lavage de la surface,
un gunitage proprement-dit fait au cement-gun.

Les ciments artificiels utilisés ont été de marques différentes à titre de comparaison: *Vicat*, *Lafarge*, *Porte de France* et *Bayard*. Ils ont été répartis sur le parment comme indiqué sur la figure 5. Le dosage du ciment était de 400 kg par mètre cube. La granulométrie du sable utilisé est donnée par la courbe ci-dessous.



Conclusions

Nous avons nécessairement amorcé ci-dessus l'étude des procédés et des méthodes qui permettent de prévenir et de limiter les détériorations des bétons.

Il apparaît que, dans le cas du gel, il est toujours prudent d'étudier la gélivité d'un ciment déterminé avant son utilisation.

Des essais exécutés par le laboratoire de gel du service de l'Equipement d'*Electricité de France* au barrage de la Girotte et à Bourg-Saint-Maurice ont permis de dégager les points suivants (*Combe*, 4⁰ Congrès International des Grands Barrages 1951).

Il y a avantage à éliminer la poussière des agrégats, l'emploi de farine inerte est à prohiber.

Le béton doit être confectionné avec le moins d'eau possible.

Il y a un optimum de dosage en ciment qu'il est inutile de dépasser.

La résistance au froid dépend de la dureté de durcissement avant gel.

L'emploi des produits d'addition peut améliorer certains bétons mais ne paraît pas indispensable.

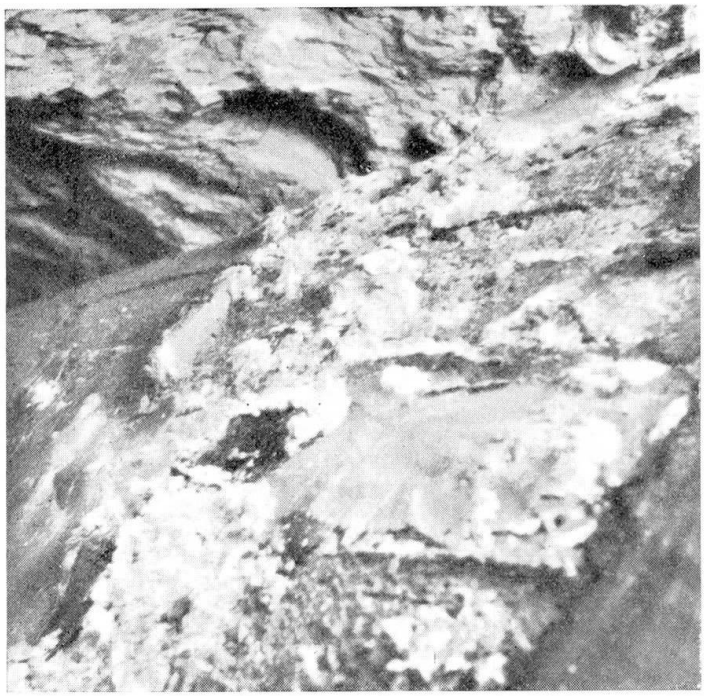
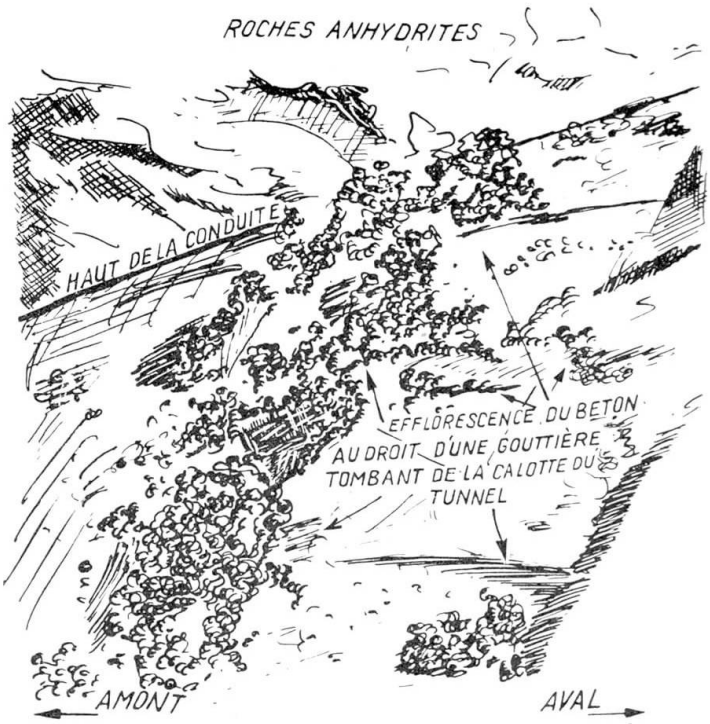


Photo N⁰ 7



La galerie d'Avrieux

Dans le cadre des détériorations par contact des eaux agressives, si on peut espérer obtenir des résultats satisfaisants en ce qui concerne les eaux séléniteuses par l'emploi de liants convenables, le problème des eaux pures reste presque insoluble. Une solution peu pratique et surtout qui nuit à l'esthétique de l'ouvrage consisterait à suspendre le long des parements autour des socs de chaux qui par leur dissolution lente tendraient à saturer en chaux les eaux d'infiltrations à travers ces parements. La corrosion dans ce cas peut être ainsi ralentie. C'est dans cette lutte contre l'agressivité des eaux pures qu'il faut espérer faire des progrès substantiels qui permettront de protéger un grand nombre de nos installations hydroélectriques.

Résumé

Dans le mémoire ci-dessus, les auteurs ont essayé d'exposer à l'aide d'exemples précis, les cas les plus typiques de corrosion des bétons pour les ouvrages hydroélectriques français.

Les cas d'aggressivité qui ont été retenus sont relatifs respectivement à l'attaque par les eaux pures, les eaux séléniteuses et le gel.

Dans le cas des eaux pures, l'étude de l'entretien des barrages des „Sept-Laux" de la centrale de „Fond-de-France" montre l'efficacité, toute relative

d'ailleurs, d'une gunite armée appliquée sur les parements amont et étudiée pour donner une faible perméabilité. Dans le cas des eaux séléniteuses, la solution du problème semble être dans le choix judicieux du liant hydraulique. Enfin, pour le gel, apparaît la nécessité de réaliser des bétons non gélifs en respectant un certain nombre de conditions mises au point par le „Service de l'Equipement d'Electricité de France".

Alors que ces deux derniers problèmes trouvent des solutions avantageuses, le problème des eaux pures est loin d'être résolu et de grands progrès sont encore nécessaires dans ce domaine.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit haben die Verfasser versucht, an Hand bestimmter Beispiele die typischsten Fälle von Korrosion des Betons bei französischen Wasserkraftanlagen darzustellen.

Die verschiedenen Arten von Angriffen, welche behandelt wurden, beziehen sich auf diejenigen reinen Wassers, salzhaltigen Wassers und Frost.

Im Falle des reinen Wassers zeigt der Unterhalt der Sperren „Sept-Laux" der Zentrale „Fond-de-France" die Wirksamkeit (eine nur relative allerdings) eines armierten Gunitbetons, welcher auf der Wasserseite angebracht wurde, um die Durchlässigkeit herabzusetzen. Im Falle salzhaltigen Wassers scheint die Lösung des Problems in der richtigen Wahl des hydraulischen Bindemittels zu liegen. Gegen den Frost endlich ergibt sich die Notwendigkeit, einen frostsicheren Beton durch Berücksichtigung einer Anzahl Bedingungen, welche durch den „Service de l'Equipement d'Electricité de France" aufgestellt worden sind, herzustellen.

Während die beiden letzteren Probleme vorteilhafte Lösungen finden, ist die Frage des reinen Wassers noch bei weitem nicht gelöst, und weitere Fortschritte sind auf diesem Gebiete notwendig.

Summary

In the present paper the author endeavours, with the help of definite examples, to illustrate typical cases of corrosion of concrete in French hydraulic power plants.

Different kinds of corrosion are dealt with, — those occurring with pure water, water containing salt, and frost.

In the case of pure water, the maintenance of the "Sept-Laux" dams of the "Fond de France" power station shows the effectiveness (although certainly only relative) of a re-inforced Gunit concrete, which was applied to the water-side in order to reduce permeability. In the case of salt water, the solution of the problem appears to lie in the proper adoption of the hydraulic binding means. Finally, against frost it is found necessary to prepare a concrete resistant to frost, by taking into account a number of conditions which have been set by the "Service de l'Equipement d'Electricité de France".

While advantageous solutions have been found for the last two problems, the question of troubler with pure water is still far from being solved, and further investigations ae necessary in this direction.